การจำแนกความคล้ายเชิงพื้นที่ทางความเสถียรเชิงความร้อนพื้นผิวเพื่อกำหนดความแตกต่างของเขตบรรยากาศประจำถิ่นในเมืองเชียงใหม่

Classifying Spatial Homogeneity of Thermally-Stabilized Surface to Define Differentiation Local Atmospheric Zones in Chiang Mai City

มานัส ศรีวณิช[1] และ สุดารัตน์ อุทธารัตน์[2]

Manat Srivanit[1] and Sudarat Auttarat[2]

[1]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121

Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani, 12121, Thailand

[2]สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Social Research Institute (SRI), Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

E-mail: s.manat@gmail.com[1]

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายหลักของบทความวิจัยนี้เพื่อค้นหาวิธีในการบูรณาการตรวจสอบผลกระทบของสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและลักษณะทั่วไปทางสัณฐานวิทยาเมืองต่อปริมาณความร้อนในการวางแผนสภาพภูมิอากาศเมืองโดยใช้ข้อมูลการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของเขตบรรยากาศประจำถิ่น เพื่อบรรลุการนี้ รูปแบบและสัณฐานวิทยาของการวางแผนเมืองและประเด็นเกี่ยวเนื่องกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองได้ถูกตรวจสอบในช่วงฤดูร้อนปี พ.ศ.2557 ในพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ข้อมูลการกระจายเชิงพื้นที่เกี่ยวกับเขตบรรยากาศประจำถิ่นและความคล้ายทางความเสถียรเชิงความร้อนพื้นผิวในพื้นที่ศึกษาถูกสร้างขึ้นโดยใช้การวิเคราะห์หลายตัวแปรเชิงพื้นที่ซึ่งเป็นวิธีการนึงของการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศเมือง ผลการศึกษาพบเขตบรรยากาศประจำถิ่นทั้งสิ้น 8 เขตที่มีการกระจายตัวแบบลำดับชั้นต่อเนื่องจากในตัวเมืองถึงชานเมือง และพบขนาดความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองสูงกว่า 4.35 องศาเซลเซียสในฤดูร้อน โดยพื้นที่ขนาด 20.88 ตารางกิโลเมตรบริเวณแกนเมืองเป็นเขตพื้นที่เมืองที่มีความเปราะบางสูงทางอุณหภูมิ ประกอบด้วยสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นด้วยปริมาณความร้อนสูงสุดมีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยที่ประมาณ 34.49 องศาเซลเซียส เป็นพื้นที่จำเป็นเร่งด่วนในการดำเนินการเพื่อหามาตรการแก้ไขและบรรเทาผลกระทบ ซึ่งการพัฒนาที่เกินขนาดและการก่อสร้างควรมีการห้ามอย่างเคร่งครัดตามเส้นทางรับลม มีการวางแผนและฟื้นฟูบูรณะที่เหมาะสมเพื่อบรรเทาปัญหาสภาพภูมิอากาศเมืองที่รุนแรงที่ควรพิจารณาเพิ่มเข้ามาเพื่อหลีกเลี่ยงการทำลายสิ่งแวดล้อมเมือง เช่น การควบคุมความสูงอาคาร การกระจายของอาคารเชิงพื้นที่ที่เหมาะสม ตลอดจนการควบคุมอัตราส่วนของความสูงอาคารต่อความกว้างถนน และการวางทิศทางแนวถนน พร้อมๆ กับการเพิ่มพื้นที่สีเขียวและการปลูกต้นไม้ในพื้นที่โล่งและถนนเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในพื้นที่ดังกล่าว โดยประโยชน์ของพื้นที่สีเขียวที่มีอยู่รอบอาคารยังสามารถบรรเทาปริมาณความร้อนและอาการไหลเวียนของอากาศระหว่างอาคาร การขยายถนนให้กว้างและรักษาพื้นที่โล่ง เป็นมาตรการส่งเสริมระยะยาวที่มีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ
เขตบรรยากาศประจำถิ่น
การวิเคราะห์หลายตัวแปรเชิงพื้นที่
ปริมาณความร้อนฤดูร้อน
ความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง
แผนที่สภาพสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง
การตั้งรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเมือง
การวางแผนและจัดการสิ่งแวดล้อมเมือง

Abstract

The aim of this research paper is to examine ways to integrated impact of the natural environment and typical urban morphological features on the thermal load into urban climate planning using spatially distributed information of local atmospheric zones (LAZs). To achieve this, the form and morphology of urban planning and their contents concerning urban heat island issues were examined in the 2557 BE summer season in Chiang Mai city area. Spatially distributed information on local atmospheric zones and their homogeneity of thermally-stabilized surface in the study area was generated using the spatial-multivariate analysis, which is an approach of urban climate analysis and evaluation tool suitable for planning purposes. The results found that the downtown-suburb continuum of local atmospheric zones with a hierarchy of 8 zones and an urban heat island intensity (UHII) can often exceed 4.35 Celsius in summer. An urban core of 20.88 square kilometer as the highly temperature-sensitive urban area is very densely built with a very high thermal load with the mean land surface temperature of 34.49 Celsius. Remedial measures and mitigation actions are urgently needed. Excessive development and construction should be strictly prohibited along the potential ventilation paths. Reasonable planning and reconstruction should improve severe urban climatic problems if possible. Building height imitations, rational spatial distribution, and controlling the aspect ratio of building height to canyon width and orientation in streets should be considered to avoid further urban environmental damage. Additional greenery and tree planting in open spaces and streets in this planning zone are strongly recommended. Moreover, greenery should be largely introduced around existing buildings, which can alleviate the thermal load and promote cool air exchange among buildings. Widening streets and preserving open space are long-term and effective measures.

Keywords:
Local Atmospheric Zones LAZs
Spatial-multivariate Analysis
Summer Thermal Load
Urban Heat Island Intensity, UHII
Urban Thermal Environmental Map, UTEMap
Urban Climate Change Resilience
Urban Environmental Planning and Management

1. ที่มาและความสำคัญ

ในพื้นที่เมืองเมืองหนึ่งสามารถมีจุลภูมิอากาศเมือง (Urban microclimate) หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่น (Local atmospheric zones) ด้วยลักษณะที่คล้ายกันทางสภาพภูมิอากาศ (Climate) ได้หลายเขตในพื้นที่เมือง (AMS, 2015) ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบภูมิทัศน์เมือง (Elements of urban landscape) เป็นตัวปั้นแต่งลักษณะเชิงพื้นที่เมืองแต่ละเมืองให้เกิดภูมิอากาศเฉพาะที่แตกต่างกัน ที่ประกอบด้วยลักษณะทางภูมิทัศน์ธรรมชาติ (Natural landscape) จากสภาพภูมิประเทศและสภาพทางธรรมชาติ (Landform and nature) เช่น พื้นที่สีเขียว ผืนดิน แหล่งน้ำผิวดิน ฯลฯ ที่เปลี่ยนแปลงจากชนบทไปสู่ความเป็นเมือง และลักษณะทางภูมิทัศน์วัฒนธรรม (Cultural landscape) เป็นสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้าง (Built environment) ที่ถูกสร้างขึ้นโดยมนุษย์เพื่อการอยู่อาศัยจากการกลายเป็นเมือง (Urbanization) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพเมือง ความหนาแน่น รูปแบบการจัดวางอาคาร การใช้ประโยชน์ที่ดิน และพื้นที่โล่งว่าง เกิดลักษณะสัณฐานวิทยาเมือง (Urban morphological features) ที่มีความซับซ้อนภายใต้ลักษณะทางกายภาพของการเกิดเมือง (Oke, 2004) ซึ่งล้วนเป็นตัวแปรควบคุมให้เกิดความแตกต่างทางสภาพภูมิอากาศเมือง (Urban climate) โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านปริมาณความร้อน และความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban heat island intensity, UHII) ที่เป็นปัญหาที่สำคัญต่อการสร้างความยั่งยืนทางสภาพแวดล้อมและภาวะน่าสบายในการอยู่อาศัยของประชากรเมือง โดยเฉพาะเมืองที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น (Hot-humid tropical climate) ใกล้เส้นศูนย์สูตรอย่างประเทศไทย ที่ยังขาดการบูรณาการสร้างองค์ความรู้ในเทคนิควิธีมาใช้ในกระบวนการวางแผนเพื่อตั้งรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเมือง (Urban climate change resilience) ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

ปัจจุบันเมืองทั่วโลกกำลังให้ความสนใจอย่างมากในการศึกษาแผนที่ภูมิอากาศเมือง เพื่อใช้เป็นแนวทางการวางแผนปรับปรุงสภาพภูมิอากาศเมือง และกำหนดมาตรการบรรเทาผลกระทบที่เหมาะสมในเชิงปฏิบัติต่อการวางแผนเชิงพื้นที่แต่ละส่วนของเมือง (Ren et al., 2011) ตอบสนองต่อประชาคมโลกที่ได้ตระหนักถึงปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) อันเนื่องจากความต้องการใช้ที่ดินของมนุษย์ที่มากกว่าครึ่งของประชากรโลกอาศัยอยู่ในพื้นที่เมือง (UNFPA, 2007; UN, 2008) เปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมทางกายภาพเมือง (Physical urban environment) ทั้งการเปลี่ยนแปลงทางภูมิทัศน์และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในเขตเมือง เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาและองค์ประกอบของบรรยากาศเมืองเปลี่ยนแปลงไป (Esser, 1989; Lambin et al., 1999; Zhou et al., 2004) โดยเฉพาะการขยายตัวของเมืองขนาดใหญ่ของประเทศไทยที่ไม่ได้เติบโตตามแผนหรือผังที่เมืองได้กำหนดขึ้น ซึ่งการเติบโตลักษณะดังกล่าวเรียกว่า การเติบโตแบบกระจัดกระจาย (Urban sprawl) (Srivanit et al, 2012; Srivanit & Hokao, 2012) ส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวเมืองสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพภูมิอากาศระดับต่ำกว่าหลังคาอาคารในชั้นเรือนยอดเมือง (Urban canopy layer, UCL) (Oke, 1987; Mills, 1997; AMS, 2014) ที่เป็นชั้นบรรยากาศที่กระทบต่อความสบายของมนุษย์ (Human comfort) และอนามัยสิ่งแวดล้อมของเมือง (Environmental health of the city) (McMichael et al, 2008) ตลอดจนการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อระบบปรับอากาศในอาคาร (Santamouris et al., 2015) ทั้งนี้ยังไม่นับรวมถึงผลกระทบด้านอื่นๆ ที่จะตามมาอีกมากมาย

แนวคิดของแผนที่ภูมิอากาศเมือง (Urban Climate Map, UCMap) ได้ถูกเสนอตั้งแต่ปี ค.ศ.1970 โดยศาสตราจารย์ชาวเยอรมันชื่อ Prof. Knoch เป็นนักวิจัยท่านแรกที่ได้เสนอระบบแผนที่ภูมิอากาศ (Climate-mapping system) เพื่อสนับสนุนการวางแผนเมืองที่แตกต่างกันในหลายระดับ (Knoch,1951; Knoch,1963) นับจากนั้นเป็นต้นมาแนวคิดนี้ได้เป็นที่แพร่หลายในเยอรมันตะวันตก โดยเมืองชตุททการ์ท (Stuttgart) เป็นเมืองแรกที่ได้พัฒนาใช้แผนที่ภูมิอากาศเมืองเพื่อการบรรเทาปัญหามลพิษทางอากาศและประยุกต์เอาองค์ความรู้ทางสภาพภูมิอากาศในการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use planning) และวางแผนสิ่งแวดล้อม (Environmental planning) (Baumüller and Reuter, 1999; Baumüller, 2006) ต่อมาในปี ค.ศ.1990 หลังจากการรวมกันของประเทศเยอรมนี การวิเคราะห์แผนที่ภูมิอากาศได้นำเอาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System (GIS) เข้ามาช่วยในการจัดการสารสนเทศภูมิอากาศและนักวางแผนสามารถประเมินแผนที่ภูมิอากาศเมืองได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น (Klimaatlas, 1992) จนมาถึงในปี ค.ศ.1997 มีการกำหนดแนวทางเชิงปฏิบัติที่ชัดเจนปรากฏในมาตรฐานแนวทางด้านวิศวกรรมประเทศเยอรมัน (German engineering guidelines-VDI 3787) เรื่อง

Environmental Meteorology Climate and Air Pollution Maps for Cities and Regions (VDI, 1997) ที่ได้กำหนดสัญลักษณ์มาตรฐานเพื่อใช้แสดงบนแผนที่ ตลอดจนแนะนำวิธีการพัฒนาการศึกษาแผนที่ภูมิอากาศเมืองที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน นับจากนั้นเป็นต้นมาแนวทางนี้ได้ถูกอ้างอิงนำไปใช้ศึกษาในหลายประเทศทั่วโลก

โดยบทความวิจัยนี้มีเป้าประสงค์หลักเพื่อเสนอวิธีการจำแนกความคล้ายเชิงพื้นที่ทางความเสถียรเชิงความร้อนพื้นผิวเพื่อกำหนดเขตบรรยากาศประจำถิ่นที่แตกต่างกันในพื้นที่ศึกษาในลักษณะแผนที่เชิงพื้นที่สองมิติ (Two-dimensional spatial map) ผ่านการวิเคราะห์หลายตัวแปรเชิงพื้นที่ หรือ Spatial-multivariate analysis เพื่อบูรณาการปัจจัยองค์ประกอบภูมิทัศน์เมืองที่ส่งผลต่อสภาพบรรยากาศชั้นเรือนยอดเมือง ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศเมือง จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเชิงพื้นที่ (Spatial information technologies) ประกอบด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) ร่วมกับเทคนิคทางสถิติ (Statistical techniques) นอกจากนี้ยังอภิปรายเกี่ยวกับวิธีการพิจารณาสภาพบรรยากาศประจำถิ่นไปใช้ในการวางแผนเชิงพื้นที่เมืองอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการสร้างแผนที่สภาพสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง (Urban thermal environmental map, UTEMap) เพื่อใช้สนับสนุนกระบวนการตัดสินใจวางแผนการตั้งรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเมืองต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อจำแนกและอธิบายข้อมูลลักษณะความคล้ายกันเชิงพื้นที่ของเขตบรรยากาศประจำถิ่นที่เกิดจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและลักษณะสัณฐานวิทยาเมือง

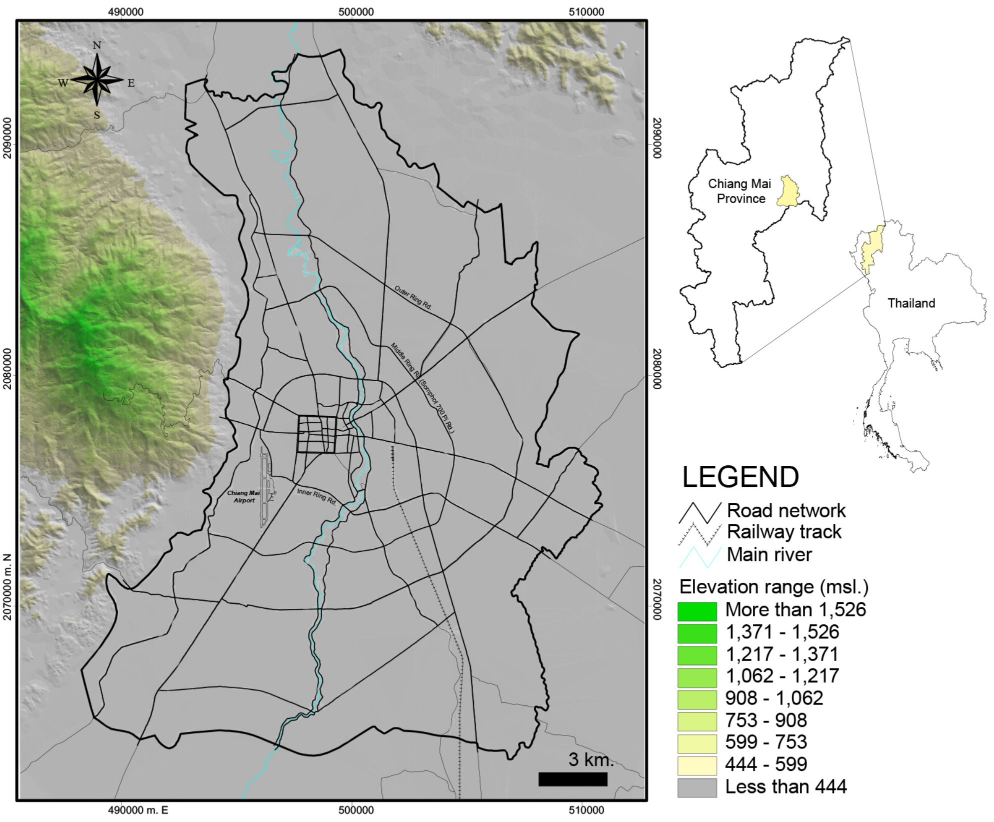
2) วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางปริมาณความร้อนระหว่างเขตบรรยากาศประจำถิ่นเพื่อสร้างกฎเกณฑ์การวัดขนาดความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

3. ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้กำหนดให้เมืองเชียงใหม่เป็นเขตพื้นที่ศึกษา ตั้งอยู่ ณ ละติจูด 18.788 องศาเหนือ ลองติจูด 98.986 องศาตะวันออก ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปมีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบมีแม่น้ำปิงไหลผ่านพื้นที่ตอนกลาง และมีดอยสุเทพเป็นภูเขาสูงอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 445 เมตร เนื้อที่ประมาณ 431.46 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอเมืองเชียงใหม่ บางส่วนของพื้นที่อำเภอแม่ริม และอำเภอสันทรายทางด้านทิศเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด และอำเภอสันกำแพงทางด้านตะวันออก และบางส่วนของอำเภอสารภีและอำเภอหางดงทางด้านใต้ (รูปที่ 1) จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยช่วง 30 ปี (ระหว่างปี พ.ศ. 2524–2553) ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ณ สถานีท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่ พบอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 25.4 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงที่มีอากาศร้อนจัดในตอนกลางวัน มีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยระหว่าง 35.2–36.5 องศาเซลเซียส (TMD, 2015) ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่ร่างกายไม่สามารถปรับตัว หรือควบคุมระดับความร้อนภายในร่างกายเกิดภาวะ ฮีทสโตรก (Heat stroke) หรือโรคลมแดด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับฤดูร้อนเพื่อการวิเคราะห์ความแตกต่างทางปริมาณความร้อนของเขตบรรยากาศประจำถิ่นซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อกระบวนการตัดสินใจวางแผนและจัดการสภาพภูมิอากาศเมืองต่อไป

4. วิธีการดำเนินการศึกษา

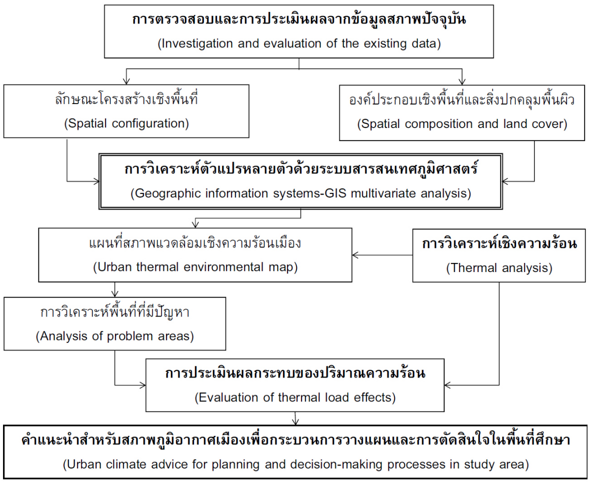
เขตบรรยากาศประจำถิ่น (Local atmospheric zones, LAZs) หรือเรียกว่า Climatopes (Baumüller et al., 1992; VDI, 1997) เป็นหน่วยพื้นฐานเชิงพื้นที่ของการวางแผนภูมิอากาศเมือง (Urban climatic planning) ที่กำหนดจากลักษณะโครงสร้างเชิงพื้นที่ (Spatial configuration) และองค์ประกอบเชิงพื้นที่และสิ่งปกคลุมพื้นผิว (Spatial composition and land cover) ของสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและลักษณะทางสัณฐานเมืองซึ่งมีเชิงความร้อนที่คล้ายคลึงกันพื้นผิว (Homogenous thermal surface) จากการจำแนกด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS multivariate analysis approach) เพื่อจำแนกหน่วยภูมิอากาศความร้อนประจำถิ่นที่แตกต่างกัน ผลกระทบที่เกิดจากความร้อนดังกล่าวจึงมีความสำคัญต่อการวางแผนเชิงพื้นที่ (Spatial planning) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงแนวทางการออกแบบและ



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 1 ทำเลที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศของเมืองเชียงใหม่
(Location and topography of Chiang Mai metropolitan area)

วางแผนในแต่ละเขตภูมิอากาศความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมเมือง (รูปที่ 2) โดยแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

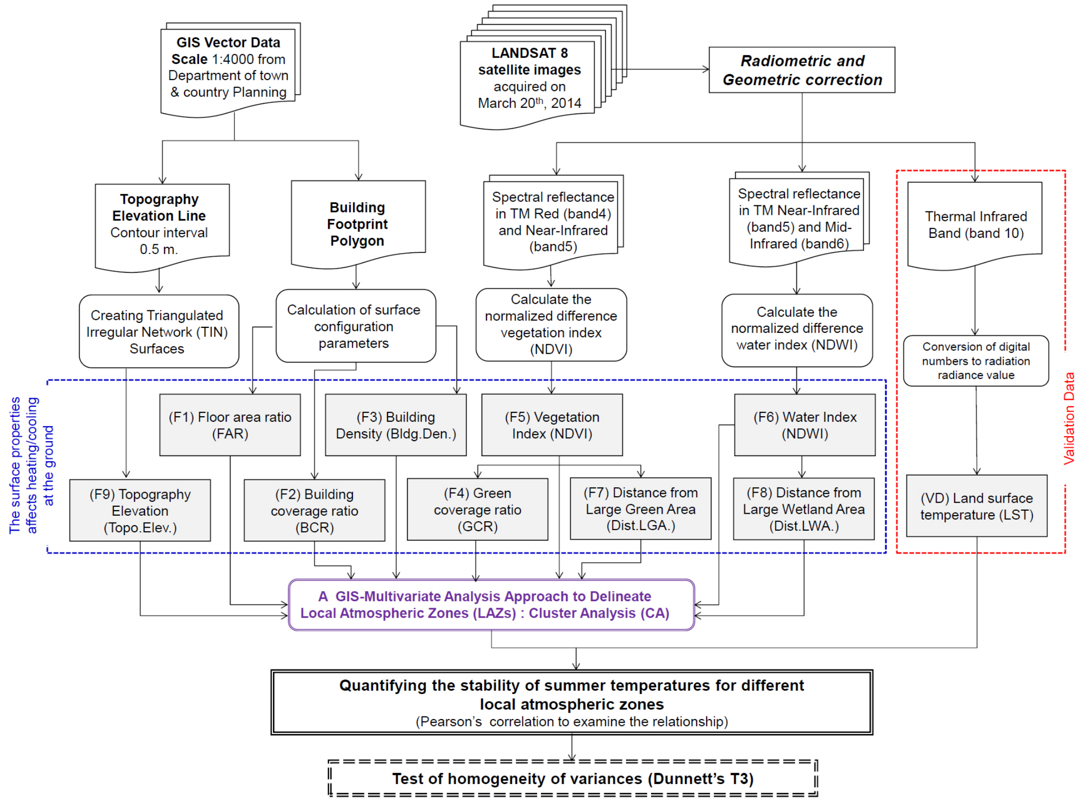


ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 2 กรอบแนวคิดการจำแนกเขตบรรยากาศประจำถิ่น (Conceptual framework of local atmospheric zones classification)

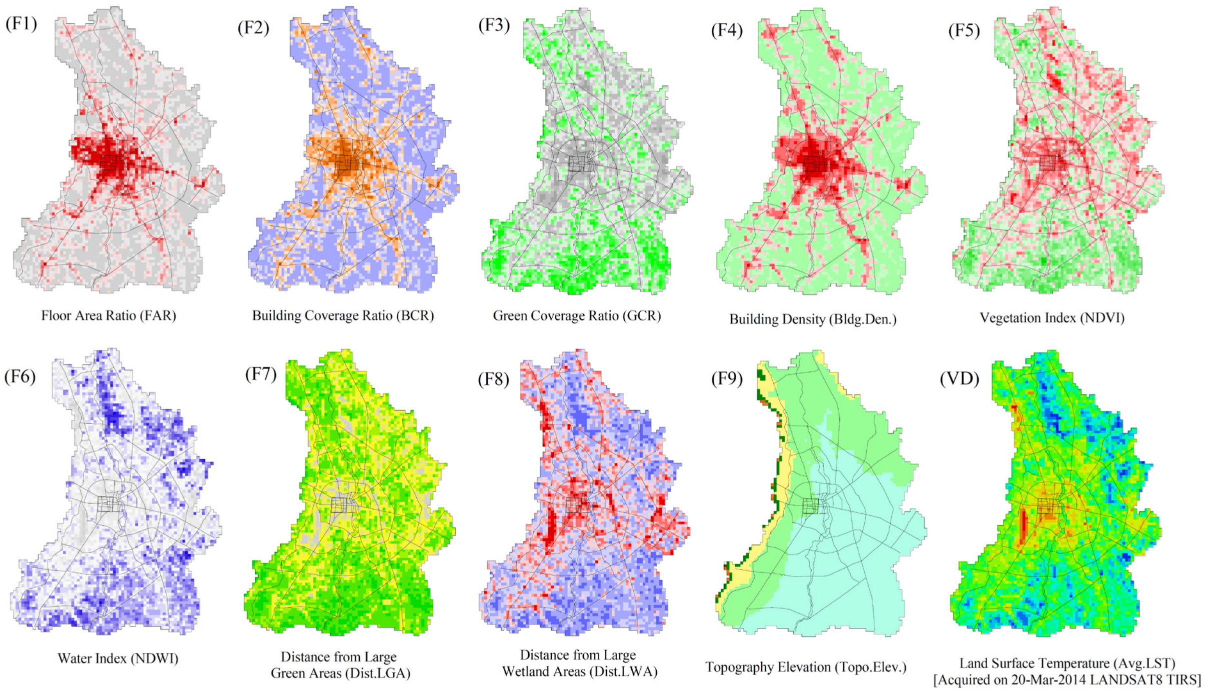
4.1 ขั้นตอนที่ 1: การเตรียมปัจจัยเชิงพื้นที่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง

จากรูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการจำแนกเขตบรรยากาศประจำถิ่น (Technical flowchart of local atmospheric zones classification) โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อจำแนกหน่วยภูมิอากาศความร้อน ปัจจัยด้านคุณสมบัติสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อความแตกต่างทางภูมิทัศน์เมือง (Urban landscape) ที่ส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศประจำถิ่นเมือง โดยเฉพาะภูมิอากาศชั้นเรือนยอดที่ประกอบด้วยกลุ่มปัจจัยสำคัญ (Ren et al., 2011; He X. et al., 2015; Mitraka Z. et al., 2015) ได้แก่ 1) โครงสร้างเมือง (Urban structure) เช่น อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor rea ratio, FAR), อัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (Building coverage ratio, BCR), ความหนาแน่นอาคาร (Building density, Bldg.Den.), ความสูงต่ำทางภูมิประเทศ (Topographic elevation, Topo.Elev.)



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 3 ขั้นตอนการจำแนกเขตบรรยากาศประจำถิ่น (Methods for local atmospheric zones classification) ในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมือง (Natural environment and urban morphometric features) ที่ส่งผลต่อภูมิอากาศเมือง

ตารางที่ 1 ความแปรปรวนรวมที่สามารถอธิบายได้ (Total variance explained) ของการสร้างปัจจัย

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.715	52.394	52.394	4.715	52.394	52.394	3.096	34.405	34.405
2	1.824	20.272	72.666	1.824	20.272	72.666	3.037	33.742	68.146
3	1.101	12.231	84.897	1.101	12.231	84.897	1.508	16.750	84.897
4	.809	8.988	93.885						
5	.301	3.349	97.234						
6	.100	1.113	98.347						
7	.063	.699	99.046						
8	.060	.667	99.713						
9	.026	.287	100.000						

หมายเหตุ: สกัดปัจจัยด้วยวิธี Principal component analysis (PCA)

ตารางที่ 2 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor loading) หลังหมุนแกน (Rotated Component Matrix[a])

ตัวแปร (Variables)	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor loading)		
	PC1	PC2	PC3
1. FAR	-.187	.954	.065
2. BCR	-.177	.968	.092
3. GCR	.903	-.200	-.151
4. Bldg.Den.	-.190	.962	.087
5. Greenery index (NDVI)	.925	-.182	-.034
6. Water index (NDWI)	.447	-.349	-.664
7. Dist.LGA	-.897	.146	.101
8. Dist.LWA	-.562	.211	.620
9. Topo.Elev.	.062	-.049	.792

หมายเหตุ: [a] การหมุนแกนด้วยวิธี Varimax with Kaiser Normalization.

ตารางที่ 3 สรุปการสร้างปัจจัย (Components) จาก 9 ตัวแปรสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง

การสร้างปัจจัย (Components)	ตัวแปรสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง 9 ตัวแปร	
	จำนวน	ประกอบด้วยตัวแปร*
1. ปัจจัยที่ 1 (PC1)	3	1.1 ดัชนีความเขียว (Greenery index, NDVI) 1.2 อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (GCR) 1.3 ความใกล้ไกลพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ (Dist.LGA)
2. ปัจจัยที่ 2 (PC2)	3	2.1 อัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (BCR) 2.2 ความหนาแน่นอาคาร (Bldg.Den.) 2.3 อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (FAR)
3. ปัจจัยที่ 3 (PC3)	3	3.1 ความสูงต่ำทางภูมิประเทศ (Topo.Elev.) 3.2 ดัชนีความชุ่มน้ำ (Water index, NDWI) 3.3 ความใกล้ไกลพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ (Dist.LWA)

หมายเหตุ: * จัดเรียงตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor loading) สูง (ใกล้ +1 หรือ ใกล้ –1)

2) สิ่งปกคลุมเมือง (Urban cover and fabric) เช่น อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (Green coverage ratio, GCR), ดัชนีความเขียว (Greenery index) ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized difference vegetation index, NDVI), ดัชนีความชุ่มน้ำ (Water index) ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของน้ำ (Normalized difference water index, NDWI) ที่ประเมินจากเทคนิคการสำรวจระยะไกล (Remote sensing technique) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ตลอดจนการพิจารณาอิทธิพลของแหล่งความเย็น (Cooling potential areas) จากความใกล้ไกลพื้นที่สีเขียว (Distance from large green areas, Dist.LGA) และพื้นที่ชุ่มน้ำ (Distance from large wetland areas, Dist.LWA) ขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4) ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ข้อมูลทั้งหมด 9 ปัจจัย ถูกสรุปเป็นข้อมูลเชิงปริมาณลงในระบบกริด (Grid cell) ขนาด 300x300 เมตร เพื่อแสดงหน่วยภูมิทัศน์เมือง (Urban landscape units, ULUs) ที่ใช้ในการศึกษา มีจำนวนทั้งสิ้น 4,794 กริด

4.2 ขั้นตอนที่ 2: การวิเคราะห์องค์ประกอบหลายตัวแปรเชิงพื้นที่

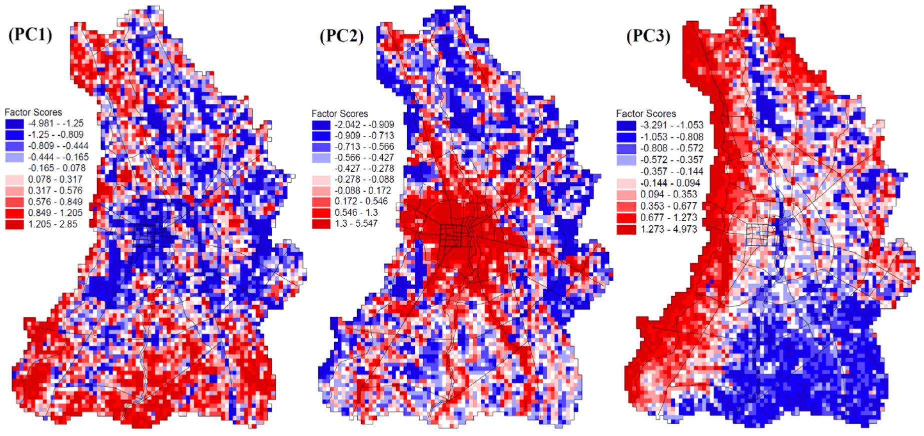
จากนั้นผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis) ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) เพื่อที่จะจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรเชิงพื้นที่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองที่มีความสัมพันธ์ไว้ในกลุ่มเดียวกัน และเพื่อใช้ตรวจสอบโครงสร้างของชุดตัวแปรในการอธิบายความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) พบ

ว่า จากตัวแปรต้นทั้ง 9 ตัวแปร ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ด้วยวิธี KMO (Kaiser-Meger-Olkin) ได้ค่าเท่ากับ .762 (KMO=.762) มีค่าใกล้ 1 จึงสรุปว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน และใช้ Bartlett's Test ซึ่งมีการแจกแจงโดยประมาณแบบ Chi-Square ได้ค่า Chi-Square = 51,235.7 และค่า Sig. = .000 ซึ่งน้อยกว่า .05 จึงสรุปว่า สามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยได้ในการแบ่งกลุ่มตัวแปร

ผลลัพธ์ในตารางที่ 1 แสดงการสร้างปัจจัย (Component หรือ Factor) โดยทุกตัวแปรจะทำการ Standardized คือการแปลงหน่วยข้อมูลตัวแปรทุกตัวแปรมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และค่าแปรปรวนเป็น 1 ก่อนทำการวิเคราะห์ปัจจัยโดยสกัดปัจจัยด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) ทำการหมุนแกนปัจจัย (Factor rotation) ด้วยเทคนิค Varimax ดังนั้นจากตัวแปรสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง 9 ตัวแปร สามารถจัดเป็นปัจจัยใหม่ 3 ปัจจัย โดยทั้ง 3 ปัจจัยมีค่าแปรปรวน 84.897% ของค่าแปรปรวนทั้งหมด เมื่อศึกษาจากค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor loading) ของตัวแปรแต่ละตัวในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 จะพบว่า 1) ปัจจัยที่ 1 (PC1) ประกอบด้วยดัชนีความเขียว (Greenery index, NDVI) อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (GCR) และความใกล้ไกลพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ (Dist.LGA) 2) ปัจจัยที่ 2 (PC2) ประกอบด้วยอัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (BCR) ความหนาแน่นอาคาร (Bldg. Den.) และอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (FAR) และ 3) ปัจจัยที่ 3 (PC3) ประกอบด้วยความสูงต่ำทางภูมิประเทศ (Topo.Elev.) ดัชนีความชุ่มน้ำ (Water index, NDWI) และความใกล้ไกลพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ (Dist. LWA) โดยทั้ง 3 ปัจจัย (PC1-PC3) สามารถแสดงค่าคะแนน (Factor score) เป็นแผนที่ได้ในรูปที่ 5

4.3 ขั้นตอนที่ 3: การจำแนกเขตบรรยากาศประจำถิ่นด้วยเทคนิค Cluster Analysis

จากค่าคะแนนของปัจจัยใหม่ 3 ปัจจัยเชิงพื้นที่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองจำนวนทั้งสิ้น 4,794 หน่วยภูมิทัศน์เมือง (ULUs) จะถูกนำมาวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Cluster analysis (CA) เพื่อจัดหน่วยรูปแบบเมืองออกเป็นกลุ่มย่อย ที่ปัจจัยทางสัณฐานวิทยาเมืองในกลุ่มเดียวกันมีลักษณะเหมือนกันหรือคล้ายกัน (Homogenous) ด้วยวิธี Non-Hierarchical Cluster หรือบางครั้งเรียกว่า K-Means Cluster Analysis ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสมกับจำนวนข้อมูลที่มีจำนวนมากว่า 200 จำนวน (Cases) เพื่อแบ่งหน่วยรูปแบบเมืองเป็นกลุ่มเทคนิคนี้จะมีการทำงานเป็นรอบ (Iteration) โดยแต่ละรอบจะมีการพิจารณาว่าควรรวมกลุ่มหน่วยรูปแบบเมือง หรือย้ายไปอยู่กลุ่มใด โดยการหาระยะห่างจากหน่วยรูปแบบเมืองที่จะย้ายไปยังค่ากลางกลุ่มแต่ละกลุ่ม (Cluster centers) ด้วยสูตร Square Euclidean Distance (ตารางที่ 4) และจากตารางที่ 5 แสดงถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรแต่ละตัวว่าเมื่ออยู่กลุ่มต่างกันค่าเฉลี่ยของตัวแปรดังกล่าวต่างกันหรือไม่ ผลลัพธ์สรุปได้ว่า ค่าสถิติ F ค่อนข้างสูงสำหรับทุกตัวแปร และค่า Sig. < .001 ดังนั้น ปัจจัยใหม่ทางสัณฐานวิทยาเมือง 3 ปัจจัยสามารถใช้ในการแบ่งกลุ่มได้ดี



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 5 ค่าคะแนน (Factor score) ของ 3 ปัจจัยใหม่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง

ตารางที่ 4 ค่ากลางกลุ่มแต่ละกลุ่มขั้นสุดท้าย (Final cluster centers) ในการจำแนกตาม 3 ปัจจัยใหม่

ปัจจัยใหม่	ค่ากลางกลุ่ม (Cluster centers)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ปัจจัยที่ 1 (PC1)	.96259	–.21486	–1.87990	.88082	–1.32344	–.96601	–.15844	–.06777
ปัจจัยที่ 2 (PC2)	–.19553	–.11905	–1.02864	–.39034	–.90088	3.02410	–.37946	1.23801
ปัจจัยที่ 3 (PC3)	–.61546	–.44110	1.74581	1.87177	–.96072	–.01509	.54864	.16992

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของการแบ่งกลุ่ม

Components	Cluster		Error		F	Sig.*
	Mean Square	df	Mean Square	df		
PC1	464.540	7	.322	4786	1442.551	<.001
PC2	554.886	7	.190	4786	2922.200	<.001
PC3	472.288	7	.311	4786	1520.109	<.001

หมายเหตุ: * ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (หรือที่ระดับนัยสำคัญ .01)

5. ผลการศึกษา

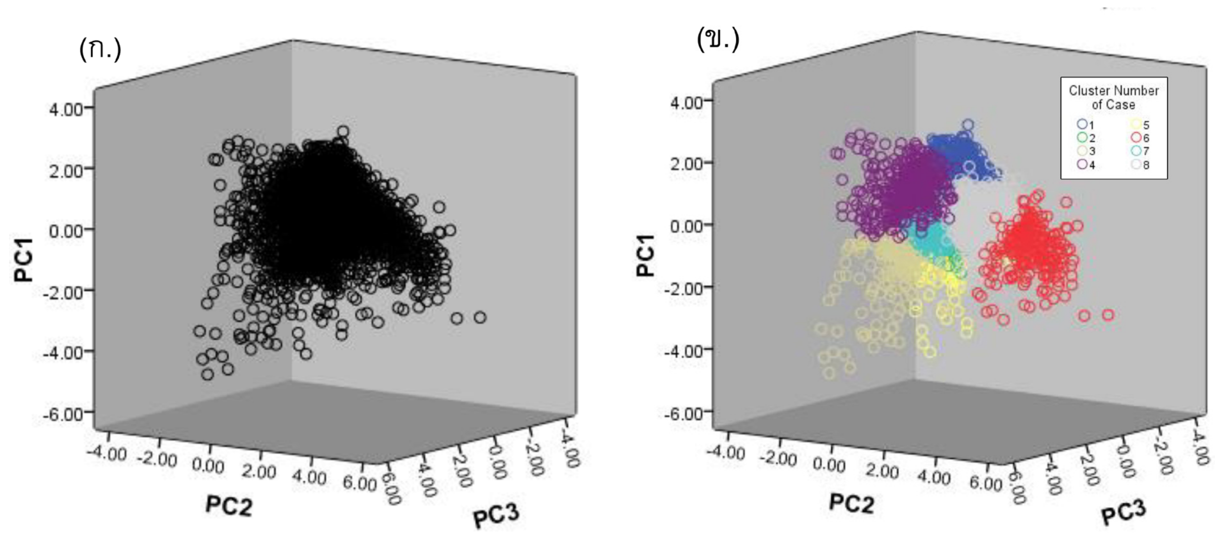
5.1 เขตบรรยากาศประจำถิ่นเมืองเชียงใหม่ (Local atmospheric zones of Chiang Mai city)

ผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 6 และรูปที่ 6 – 8) พบว่า พื้นที่เมืองเชียงใหม่หากจัดหน่วยภูมิทัศน์เมือง (ULUs) ด้วย 3 ปัจจัยใหม่เชิงพื้นที่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองเชียงใหม่ จะได้กลุ่มย่อยเป็นจำนวนทั้งสิ้น 8 กลุ่ม โดยรูปที่ 9 และรูปที่ 10 สามารถแสดงเป็นแผนที่ของทั้ง 8 เขตพื้นที่ หรือ โซน (Zones) และค่าระยะห่าง Square Euclidean Distance ตามลำดับ

ตารางที่ 6 จำนวนหน่วยภูมิทัศน์เมืองในแต่ละกลุ่ม Cluster

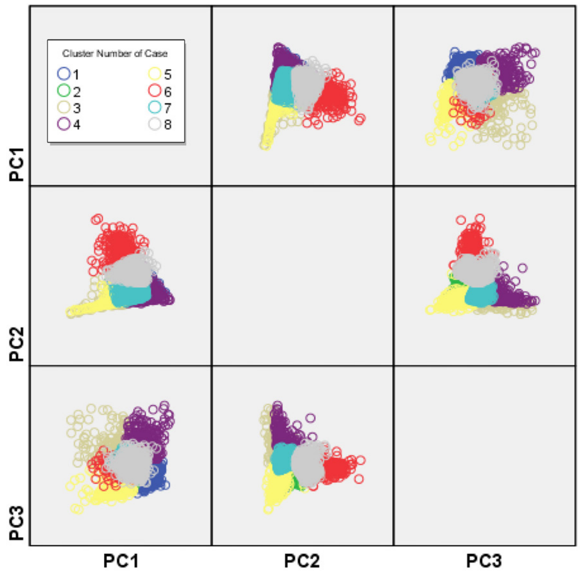
Cluster	จำนวนหน่วยภูมิทัศน์เมือง (ULUs)	ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา	
		ตารางกิโลเมตร	เปอร์เซ็นต์ (%)
1	1,254	112.86	26.16
2	784	70.56	16.35
3	170	15.30	3.55
4	405	36.45	8.45
5	513	46.17	10.70
6	232	20.88	4.84
7	832	74.88	17.36
8	604	54.36	12.60
รวมทั้งสิ้น	4,749	431.46	100.00

จากเขตที่มีความคล้ายเชิงพื้นที่ (Spatial homogeneity) ทางลักษณะสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง สามารถแสดงค่าความแตกต่างของปัจจัยใหม่ระหว่างกลุ่มได้ดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12 แสดงความแตกต่างจากการพิจารณาคุณสมบัติของ 9 ตัวแปรต้น พบว่า ปัจจัยด้านพื้นที่สีเขียว (ปัจจัยที่ 1 หรือ PC1) มีค่าคะแนนปัจจัย (Factor score) สูงมากบริเวณกลุ่มพื้นที่ที่ 1 (Cluster 1) ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณร้อยละ 26.16 ของพื้นที่ศึกษา (หรือ ประมาณ 112.86 ตารางกิโลเมตร) จะมีการกระจายตัวส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำปิงทางทิศใต้ของพื้นที่นอกเมืองเชียงใหม่บริเวณอำเภอสารภีและอำเภอหางดง โดยเป็นเขตที่มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินและดัชนีความเขียวสูงที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นทุ่งนาและสวนในพื้นที่ลุ่มต่ำ ในขณะที่พื้นที่ที่พบค่าคะแนนต่ำที่สุดที่กลุ่มพื้นที่ที่ 3 (Cluster 3) (ร้อยละ 3.55) ส่วนมากเป็นพื้นที่ที่ปกคลุมเต็มไปด้วยพื้นดาดแข็ง (Hardscape) หรือพื้นที่ที่มีการขุดดินถมดินเพื่อสร้างโครงการที่อยู่อาศัย ความชุ่มน้ำต่ำบนผิวพื้น ตลอดจนการมีพืชพรรณที่ปกคลุมผืนดินมีน้อย เช่น บริเวณพื้นที่สนามบินนานาชาติเชียงใหม่ พื้นที่ศูนย์ประชุมและแสดงสินค้านานาชาติจังหวัดเชียงใหม่ และสนามกีฬาสมโภชเชียงใหม่ 700 ปี เป็นต้น



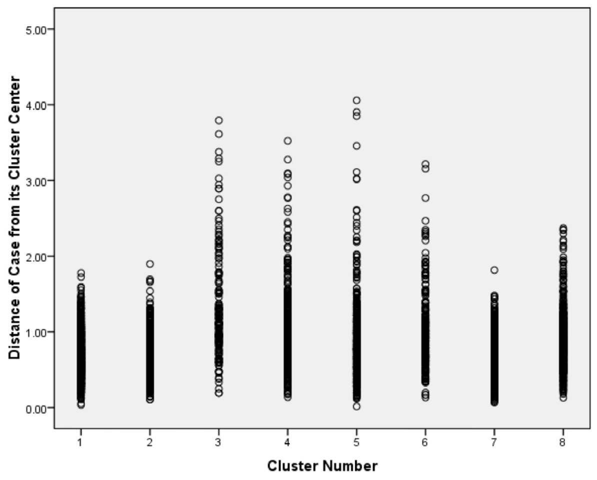
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 6 แผนภูมิการกระจาย (Scatter plot); (ก.) ของ 3 ปัจจัยใหม่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง และ (ข.) การจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Cluster analysis (CA)



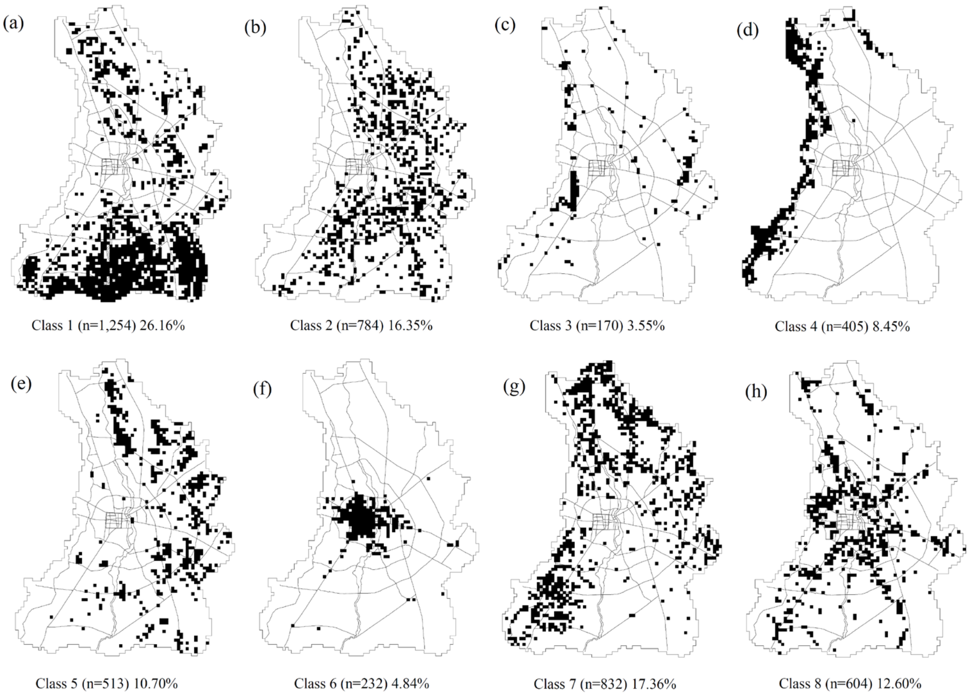
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 7 แผนภูมิเมตริกซ์ (Matrix chart) ของการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Cluster analysis



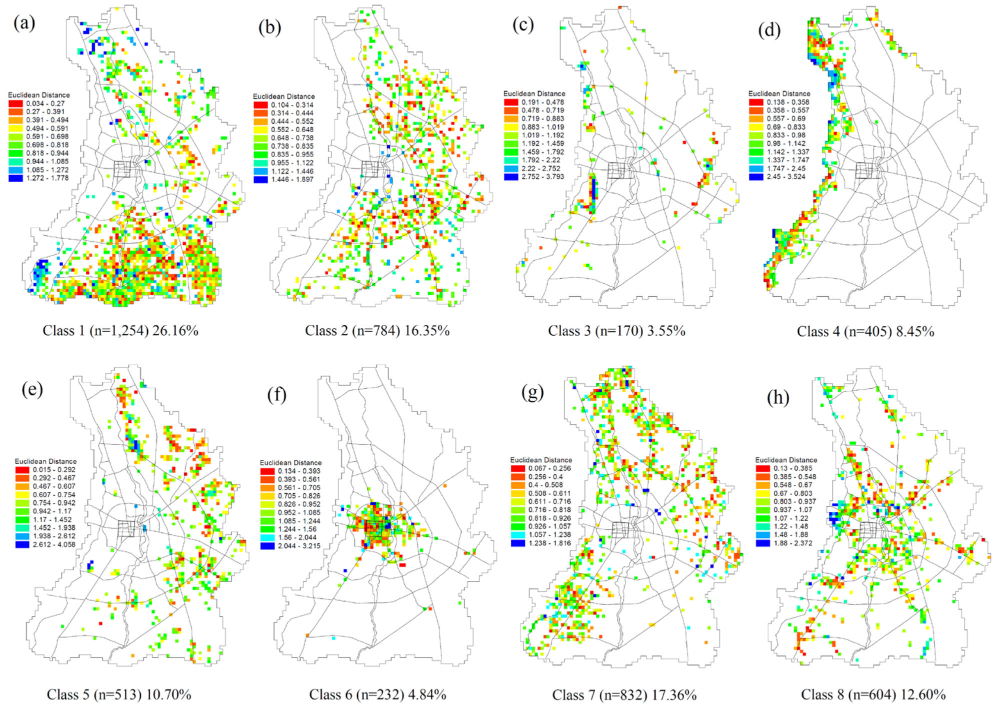
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 8 กราฟแสดงระยะห่าง Square Euclidean Distance ของหน่วยภูมิทัศน์เมืองจากค่ากลางกลุ่ม (Cluster centers) ทั้ง 8 กลุ่ม



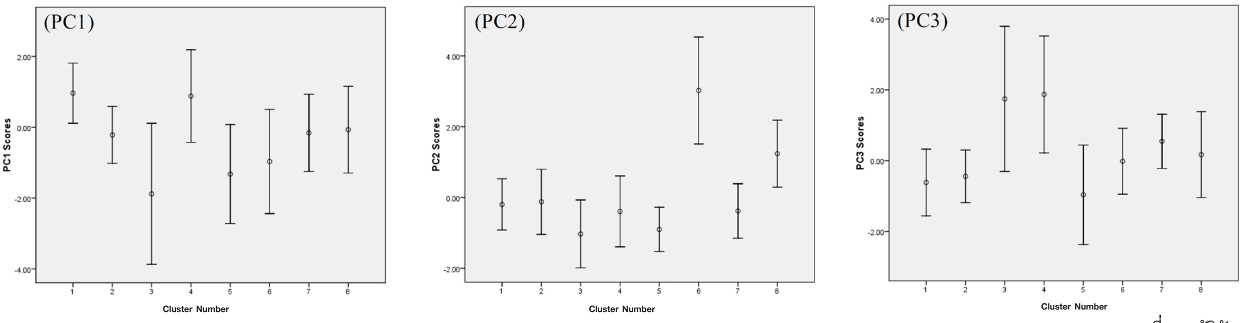
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 9 การกระจายตัวของ 8 เขต (Zones) ที่มีความคล้ายกันเชิงพื้นที่ (Spatial homogeneity) ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง



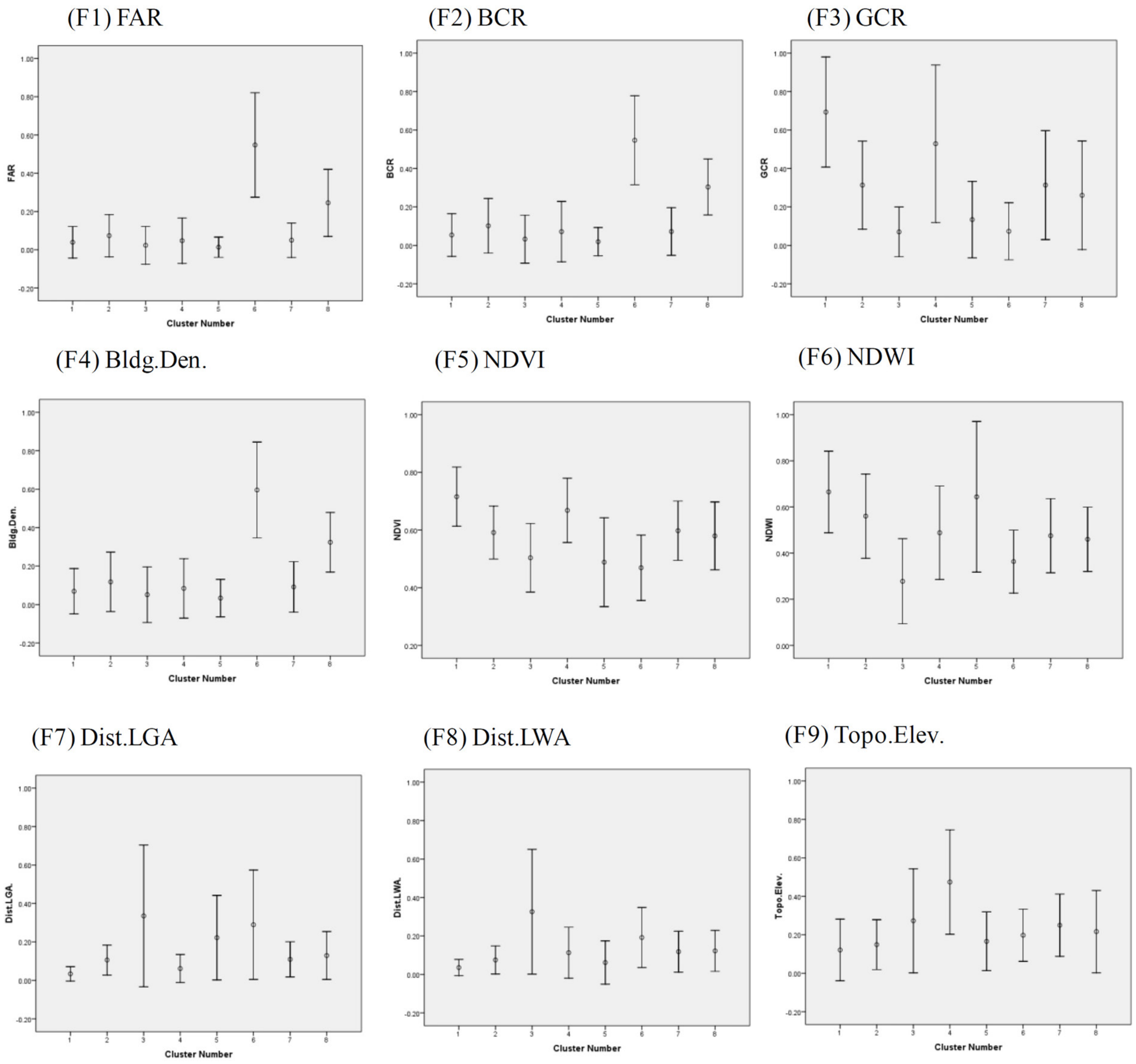
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 10 ระยะห่าง Square Euclidean Distance ของหน่วยภูมิทัศน์เมืองจากค่ากลางกลุ่ม (Cluster centers) ทั้ง 8 เขต



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 11 ลักษณะด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองที่แตกต่างกันระหว่าง 8 เขตพื้นที่จากการพิจารณาคุณสมบัติของ 3 ปัจจัยใหม่



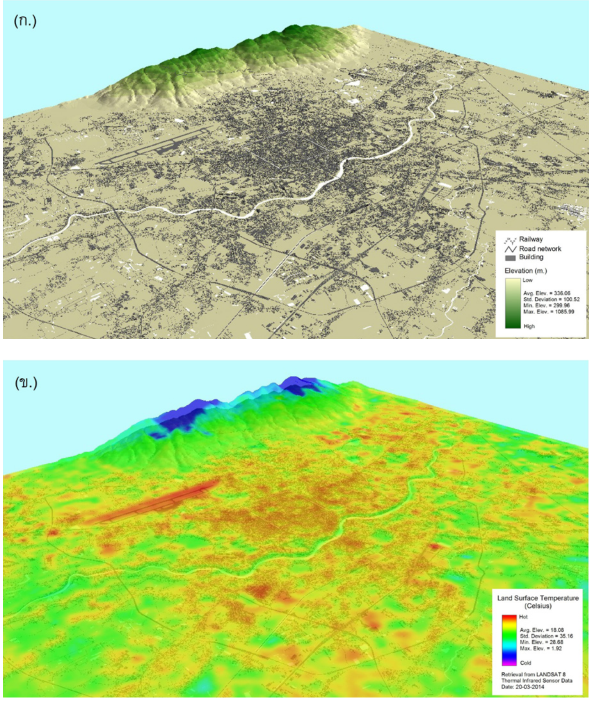
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 12 ลักษณะด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองที่แตกต่างกันระหว่าง 8 เขตพื้นที่จากการพิจารณาคุณสมบัติของ 9 ตัวแปรต้น

5.2 ความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในฤดูร้อน (Urban heat island intensity in summer)

เขตพื้นที่ที่มีความคล้ายกันทางคุณสมบัติสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาทั้ง 8 เขต ตั้งแต่ในเขตเมืองต่อเนื่องไปยังเขตชนบทจะถูกนำมาประเมินระดับปริมาณอุณหภูมิ ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมช่วงเวลากลางวันของดาวเทียมแลนด์แซท ระบบทีไอออร์เอส (Landsat 8 TIRS-Thermal Infrared Sensor) (ณ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2557) ซึ่งถูกนำมาใช้ทดสอบความเสถียรของอุณหภูมิพื้นผิว (Land surface temperature) ช่วงฤดูร้อนในเขตภูมิอากาศความร้อนที่ต่างกัน (รูปที่ 13) ดังนั้น ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดจากความแตกต่างกันทางคุณสมบัติเชิงพื้นที่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองของแต่ละกลุ่มเขตพื้นที่ (ตารางที่ 7) ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยขอนิยามกลุ่มพื้นที่นี้ว่า “เขตบรรยากาศประจำถิ่น” หรือ “Local Atmospheric Zones (LAZs)” โดยพบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยบริเวณเขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 6 (LAZ-6) ซึ่งให้นิยามเป็นเขตแบบ “Town center climatope” ซึ่งมีลักษณะสัณฐานเมืองที่ประกอบด้วยสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นด้วยปริมาณความร้อนเฉลี่ยสูงสุด (รูปที่ 15) ในบริเวณแกนเมือง (Urban core) หรือ ย่านใจกลางเมือง (Downtown) ที่มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยประมาณ 34.49 องศาเซลเซียส ครอบคลุมพื้นที่ 20.88 ตารางกิโลเมตรของเมืองเชียงใหม่ พื้นที่นี้เรียกว่า “เกาะความร้อน (Heat islands)” ต่างจากเขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 5 (LAZ-5) ซึ่งให้นิยามเป็นเขตแบบ “Cultivation climatope” ซึ่งส่วนใหญ่กระจายอยู่ตามแนวชายขอบเมือง (Downtown fringe) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ลุ่มต่ำ (Lowland area) พื้นที่ชุมน้ำบริเวณชนบทเกษตรกรรม และมีการพัฒนาหนาแบบแน่นน้อย จึงเป็นเขตที่ประสบปัญหาด้านปริมาณความร้อนน้อยกว่าเขตอื่นๆ ด้วยอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยประมาณ 30.14 องศาเซลเซียส (รูปที่ 14 และ รูปที่ 16) เรียกพื้นที่นี้ว่า “เกาะความเย็น (Cool islands)” ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งสองบริเวณเท่ากับ 4.35 องศาเซลเซียส เรียกว่า “ขนาดความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (UHII)” ช่วงฤดูร้อนของเมืองเชียงใหม่ (รูปที่ 17) โดยผลการวิเคราะห์ด้วยแผนที่เชิงพื้นที่ของเขตภูมิอากาศความร้อนนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับนักวางแผนเมืองด้วยเหตุผลสองประการได้แก่ ประการแรกแผนที่จะระบุบริเวณพื้นที่เมืองที่วิกฤติจากสภาพภูมิอากาศเชิงความร้อนที่แตกต่างกันในช่วงฤดูร้อน และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในเมืองเชียงใหม่ และประการที่สอง เมื่อนำแผนที่สิ่งปกคลุมดินมาซ้อนทับแผนที่นี้จะมีส่วนสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่เพื่อกำหนดกลยุทธ์การวางแผนจัดการพื้นที่เมืองเพื่อบรรเทาผลกระทบจากปริมาณความร้อนที่รุนแรงในฤดูร้อน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญและมีประโยชน์สำคัญต่อกระบวนการวางแผนและออกแบบสิ่งแวดล้อมเพื่อตั้งรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเมืองต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละเขตบรรยากาศประจำถิ่น โดยใช้สถิติทดสอบค่า t-test และค่าความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏดังตารางที่ 8 ในภาพรวม พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเขตบรรยากาศประจำถิ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 13 (ก.) สัณฐานวิทยาเมืองเชียงใหม่ และ (ข.) อุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature, LST) จากข้อมูล Landsat 8 TIRS-Thermal Infrared Sensor ณ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2557

ตารางที่ 7 อุณหภูมิและความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในแต่ละเขตบรรยากาศประจำถิ่น

Local Atmospheric Zones (LAZs)	อุณหภูมิพื้นผิว (LST) ณ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ.2557 (องศาเซลเซียส)[b]						UHII[a] (องศาเซลเซียส)
	Mean	Maximum	Median	Minimum	Mode	S.D.	
LAZ-1	30.50	33.53	30.66	26.21	30.50	1.27	3.99
LAZ-2	31.53	34.70	31.69	26.77	33.13	1.45	2.96
LAZ-3	34.28	38.34	34.05	31.03	34.03	1.57	0.21
LAZ-4	32.52	36.02	32.50	29.41	32.23	1.06	1.97
LAZ-5	30.14	37.13	29.74	26.05	27.59	2.13	4.35
LAZ-6	34.49	36.25	34.60	29.65	33.88	.85	0.00
LAZ-7	32.23	35.83	32.36	28.21	31.96	1.16	2.26
LAZ-8	33.30	36.06	33.32	30.40	33.36	.83	1.19

หมายเหตุ: [a]Retrieval from LANDSAT 8 TIRS (Thermal Infrared Sensor), [b]Urban heat island intensity (UHII) is the difference in mean surface temperature between the town center (LAZ-6) and surrounding fields.

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างเขตบรรยากาศประจำถิ่น

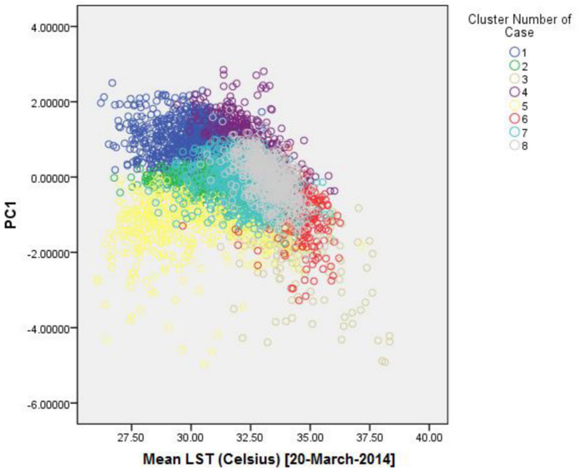
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.*
Between Groups	8,009.980	7	1,144.283	642.287	<.001
Within Groups	8,526.624	4,786	1.782		
Total	16,536.604	4,793			

หมายเหตุ: * ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจำแนกตามเขตบรรยากาศประจำถิ่น

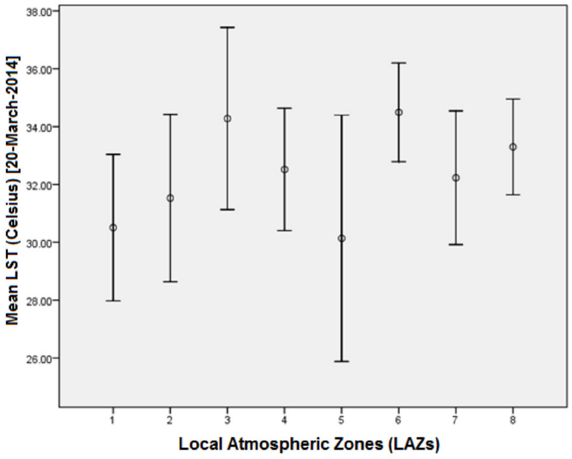
Local Atmospheric Zones (LAZs)	ค่าเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	Mean difference comparisons							
		LAZ-1	LAZ-2	LAZ-3	LAZ-4	LAZ-5	LAZ-6	LAZ-7	LAZ-8
LAZ-1	30.50		-1.022*	-3.771*	-2.011*	0.366*	-3.986*	-1.722*	-2.791*
LAZ-2	31.53	1.022*		-2.748*	-0.989*	1.388*	-2.964*	-0.700*	-1.769*
LAZ-3	34.28	3.771*	2.748*		1.759*	4.137*	-0.215	2.048*	0.979*
LAZ-4	32.52	2.011*	0.989*	-1.759*		2.377*	-1.974*	0.289	-0.779*
LAZ-5	30.14	-0.366*	-1.388*	-4.137*	-2.377*		-4.352*	-2.088*	-3.157*
LAZ-6	34.49	3.986*	2.964*	0.215	1.974*	4.352*		2.263*	1.194*
LAZ-7	32.23	1.722*	0.700*	-2.048*	-0.289	2.088*	-2.263*		-1.069*
LAZ-8	33.30	2.791*	1.769*	-0.979*	0.779*	3.157*	-1.194*	1.069*	

หมายเหตุ: * ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



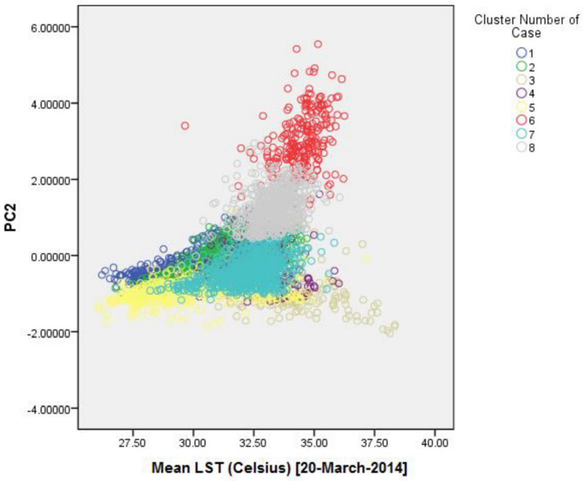
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 14 Scatter diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ 1 (PC1) กับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจำแนกตามเขตบรรยากาศประจำถิ่น



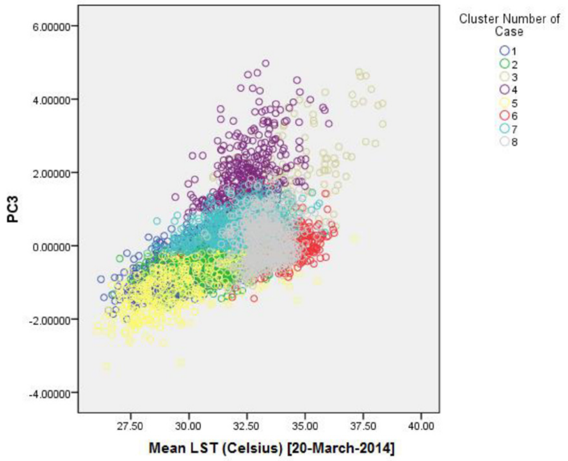
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 17 ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวในแต่ละเขตบรรยากาศประจำถิ่นในช่วงฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 15 Scatter diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ 2 (PC2) กับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจำแนกตามเขตบรรยากาศประจำถิ่น



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 16 Scatter diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ 3 (PC3) กับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจำแนกตามเขตบรรยากาศประจำถิ่น

หากวิเคราะห์เปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจะทำการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of variances) เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเขตเท่ากันหรือไม่เป็นรายคู่ (Post hoc comparisons) โดยใช้เทคนิค Dunnett’ T3 กรณีที่พบค่าความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) (ตารางที่ 9) พบว่า เขตบรรยากาศประจำถิ่น 2 คู่ที่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ปัจจัยทางด้านคุณสมบัติสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองที่ส่งผลต่อภูมิอากาศเมืองจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันแต่ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งคู่ต่างกัน ได้แก่ 1) เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 3 (LAZ-3) กับ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 6 (LAZ-6) และ 2) เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 4 (LAZ-4) กับเขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 7 (LAZ-7) ที่มีความต่างอย่างเห็นได้ชัดในองค์ประกอบของอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวม พื้นที่อาคารคลุมดิน และความหนาแน่นอาคาร (รูปที่ 12)

5.3 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความเสถียรเชิงความร้อนของเขตบรรยากาศประจำถิ่น (Major factors responsible for LAZ’s thermal stability)

การวัดความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมืองทั้งสิ้น 9 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันจำแนกตามเขตบรรยากาศประจำถิ่น โดยสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสเพียร์แมน (Spearmen correlation) หรือ

ตารางที่ 10 ผลการวัดความสัมพันธ์แบบ Spearman's rho ระหว่างปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมืองที่ส่งผลต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันจำแนกตามเขตบรรยากาศประจำถิ่น

Variables	Local Atmospheric Zones (LAZs) level								Urban level
	LAZ-1	LAZ-2	LAZ-3	LAZ-4	LAZ-5	LAZ-6	LAZ-7	LAZ-8	
1. FAR	.631**	.605**	-.018	.086	.293**	.161*	.417**	.317**	.568**
2. BCR	.630**	.580**	.093	.198**	.288**	.488**	.396**	.422**	.581**
3. GCR	-.209**	-.322**	-.230**	-.615**	-.094*	-.384**	-.375**	-.583**	-.469**
4. Bldg.Den.	.662**	.653**	.105	.229**	.315**	.493**	.430**	.492**	.605**
5. NDVI	-.222**	-.170**	.114	-.569**	-.173**	-.273**	-.230**	-.531**	-.384**
6. NDWI	-.777**	-.767**	-.558**	-.789**	-.872**	-.538**	-.643**	-.600**	-.854**
7. Dist.LGA	.157**	.250**	.312**	.580**	.048	.412**	.355**	.578**	.441**
8. Dist.LWA	.715**	.718**	.590**	.751**	.877**	.556**	.631**	.597**	.834**
9. Topo.Elev.	-.014**	-.177**	.043	.034	-.365**	.059	-.159**	-.107**	-.235**

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

เรียกว่า Spearman's rho การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเข้าใกล้ –1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากค่ามีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย โดยเครื่องหมาย + (บวก) หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ปัจจัยด้านคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมืองมีค่าสูง อุณหภูมิเฉลี่ยของเขตบรรยากาศประจำถิ่นก็จะมีค่าสูงไปด้วย) และเครื่องหมาย – (ลบ) การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ปัจจัยด้านคุณสมบัติสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมืองมีค่าสูง ส่งผลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของเขตภูมิอากาศความร้อนจะมีค่าต่ำลง)

ตารางที่ 10 พบว่า ในภาพรวมระดับเมือง (Urban level) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมืองที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยของเขตบรรยากาศประจำถิ่นในทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ประกอบด้วย 3 ปัจจัย เรียงลำดับความสัมพันธ์ในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยมากไปน้อย ได้แก่ 1) ดัชนีความชุ่มน้ำ (Water index) ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของน้ำ (NDWI) (ρ =-.854), 2) อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (GCR) (ρ =-.469) และ 3) ดัชนีความเขียว (Greenery index) ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) (ρ =-.384) ตามลำดับ

ในขณะที่ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมืองที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยของเขตบรรยากาศประจำถิ่นในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ประกอบด้วย 6 ปัจจัย เรียงลำดับความสัมพันธ์ในการเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยมากไปน้อย ได้แก่ 1) ความใกล้ไกลจากพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ (Dist.LWA) (ρ =.834), 2) ความหนาแน่นอาคาร (Bldg. Den.) (ρ =.605), 3) อัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (BCR) (ρ =.581), 4) อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (FAR) (ρ =.568), 5) ความใกล้ไกลพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ (Dist.LGA) (ρ =.441), 6) ความสูงต่ำทางภูมิประเทศ (Topo.Elev.) (ρ =.235) ตามลำดับ

หากพิจารณาในระดับเขตบรรยากาศประจำถิ่น (Local atmospheric zones level) จะพบว่า ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมืองมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยของเขตบรรยากาศประจำถิ่นที่แตกต่างกันในแต่ละเขต ทั้งขนาดของความสัมพันธ์และจำนวนตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบเขตบรรยากาศประจำถิ่นทั้งสิ้น 4 เขต ที่ทั้ง 9 ตัวแปรมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ย ได้แก่ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 1 (LAZ-1), เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 2 (LAZ-2), เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 7 (LAZ-7) และเขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 8 (LAZ-8) และพบว่าเขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 3 (LAZ-3) เป็นเขตภูมิอากาศเชิงความร้อนที่มีจำนวนตัวแปรที่ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีนัยสำคัญทางสถิติแค่ 4 ตัวแปร ได้แก่

ความใกล้ไกลจากพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ ดัชนีความชุ่มน้ำความใกล้ไกลพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ และอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน ตามลำดับ จากลักษณะพื้นที่ที่เป็นพื้นที่โล่งและประกอบด้วยพื้นดาดแข็ง (Hardscape) และที่ดินเปิด (Bare soils) เช่น พื้นสนามบินนานาชาติจังหวัดเชียงใหม่ ลานกิจกรรมที่เทด้วยคอนกรีตนาดใหญ่ของห้างสรรพสินค้าและไฮเปอร์มาร์เก็ต การขุดถมดินเพื่อการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ เป็นต้น

6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การจำแนกความคล้ายเชิงพื้นที่ทางความเสถียรความร้อนพื้นผิวพื้นที่เมืองเชียงใหม่ โดยการสร้างแผนที่สภาพสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง (Urban thermal environmental map, UTEMap) (รูปที่ 18) ทำให้พบเขตบรรยากาศประจำถิ่นทั้งสิ้น 8 เขต ที่มีการกระจายตัวแบบลำดับชั้นต่อเนื่องจากในตัวเมืองถึงพื้นที่ชานเมือง หากเรียงลำดับตามปริมาณความร้อนด้วยอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย ได้แก่

1)Town center climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 6 (LAZ-6) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 20.88 ตารางกิโลเมตร บริเวณแกนเมือง เป็นเขตพื้นที่เมืองที่มีความเปราะบางสูงทางอุณหภูมิ (Highly temperature-sensitive urban area) ในย่านเมืองเก่าที่ประกอบด้วยสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นด้วยปริมาณความร้อนสูงสุด มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 34.49 องศาเซลเซียส พื้นที่นี้มีความเร่งด่วนในการดำเนินการเพื่อหามาตรการแก้ไขและบรรเทาผลกระทบ ซึ่งการพัฒนาที่มากเกินไปและการก่อสร้างควรมีการห้ามอย่างเคร่งครัดตามเส้นทางรับลม มีการวางแผนและฟื้นฟูบูรณะที่เหมาะสมกับความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคาร (Outdoor thermal comfort) จำเป็นต้องมีการศึกษาสำรวจความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation survey) ที่เหมาะสมต่อการรับรู้ของประชาชนส่วนใหญ่รู้สึกสบาย (Srivanit & Auttarat, 2015) และใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจสอบมาตรการออกแบบภูมิทัศน์เมือง ตลอดจนมาตรการอื่นๆ ที่จะบรรเทาปัญหาสภาพภูมิอากาศเมืองที่จะรุนแรงขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการทำลายสิ่งแวดล้อมเมือง เช่น การควบคุมความสูงอาคาร การกระจายเชิงพื้นที่ที่เหมาะสม และการควบคุมอัตราสัดส่วนของความสูงอาคารต่อความกว้างถนนและการวางทิศทางแนวถนน พร้อมๆ กับการเพิ่มพื้นที่สีเขียวและการปลูกต้นไม้ในพื้นที่โล่งและถนนเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในพื้นที่ดังกล่าวโดยประโยชน์ของพื้นที่สีเขียวที่มีอยู่รอบอาคารยังสามารถบรรเทาปริมาณความร้อนและอากาศเย็นไหลเวียนระหว่างอาคาร

2) Large impervious surface climatop หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 3 (LAZ-3) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 15.30 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 34.28 องศาเซลเซียส เป็นเขตที่มีความร้อนพื้นผิวสูงจากการปกคลุมด้วยวัสดุดาดแข็งขนาดใหญ่ เช่น สนามบินนานาชาติจังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์ประชุมและแสดงสินค้านานาชาติเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา สนามกีฬาสมโภชเชียงใหม่ 700 ปี ห้างสรรพสินค้า ไฮเปอร์มาร์เก็ต เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่มีลานคอนกรีตขนาดใหญ่ที่มีคุณสมบัติดูดกลืนความร้อนสูงและแผ่ความร้อนในตอนกลางคืน ดังนั้น การส่งเสริมการใช้วัสดุที่ยั่งยืน (Sustainable materials) การปูพื้นเย็น (Cool pavements) ที่มีค่าสะท้อนแสง (Albedo value) ลดการดูดซับความร้อนจากแสงแดด ตลอดจนวัสดุที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ (Permeable paving) ที่ยังมีส่วนช่วยลดปริมาณการไหลบ่า (Runoff) ของน้ำฝนช่วงมรสุม การใช้หลังคาเขียว (Green roofs) จากพืชพรรณ หรือ การเคลือบสีหลังคาเย็น (Cool roof coatings) ด้วยสีที่มีคุณสมบัติสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ดีกับอาคารคลุมดินขนาดใหญ่เป็นสิ่งจำเป็น

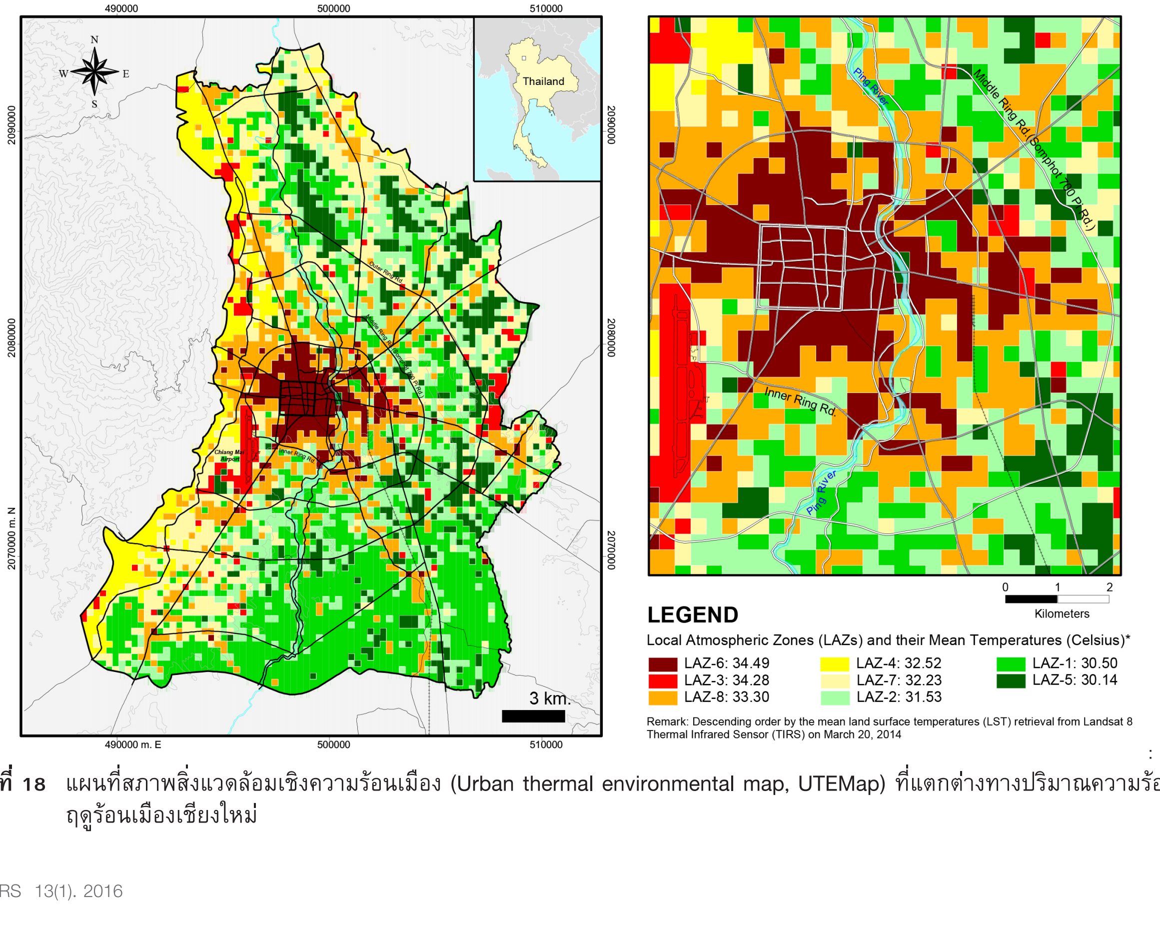
3) Linear town climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 8 (LAZ-8) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 54.36 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 33.30 องศาเซลเซียส เป็นพื้นที่เมืองส่วนต่อขยายจากบริเวณแกนเมืองที่มีการใช้ที่ดินความหนาแน่นสูง การพัฒนาตามแนวถนน (Linear or ribbon development) กระจายตัวไปตามโครงข่ายถนนสายหลักที่เชื่อมโยงไปยังศูนย์กลางอำเภอข้างเคียง อาคารสูงสองฟากฝั่งแนวถนนมีลักษณะคล้ายหุบเขา เรียกว่าหุบเขาถนน (Street canyon) หรือ หุบเขาเมือง (Urban canyon) มีความรุนแรงทางมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียงสูงจากปริมาณจราจรหนาแน่น การระบายอากาศตามธรรมชาติ (Natural ventilation) ทำได้น้อยหากหุบเขาวางตัวขวางทิศทางลมประจำและหุบเขามีความสูงมากทำให้ปริมาณของความหยาบพื้นผิว (Surface roughness) ที่สูง ประกอบกับการกักเก็บความร้อนของวัสดุอาคารจากแสงแดดที่ส่องลงไปในหุบเขาในช่วงกลางวัน จะเป็นตัวเสริมให้ปริมาณความร้อนเพิ่มความรุนแรงขึ้น ดังนั้นมาตรการเพิ่มพื้นที่โล่งและการปลูกต้นไม้ตามแนวถนน (Roadside trees planting) เป็นส่งจำเป็น กับการควบคุมการพัฒนาอย่างเข้มงวดในแนวเส้นทางการระบายอากาศ

(Ventilation path) (Charoentrakulpeeti, 2014) เช่น กำหนดระยะถอยร่นระหว่างอาคาร การออกแบบรูปทรงอาคาร (Building geometry design) ฯลฯ หลีกเลี่ยงการพัฒนาที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรมขนาดใหญ่ในเขตที่จะทำให้ปริมาณจราจรสูงขึ้น

4) Forest climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 4 (LAZ-4) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 36.45 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ป่าเต็งรังตามเนินเขาหรือสันเขาที่แห้งแล้งในฤดูร้อนของดอยสุเทพ อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 32.52 องศาเซลเซียส เป็นพื้นที่แหล่งความเย็น (Cooling areas) ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ใกล้เขตอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย หย่อมสีเขียว (Green patch หรือ Forest patch) ขนาดใหญ่ต้นกำเนิดของต้นน้ำลำธารลำห้วย เช่น ห้วยแก้ว ห้วยช่างเคี่ยน เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งต้นน้ำลำธารที่ไหลลงสู่แม่น้ำปิง ที่ควรส่งเสริมให้เกิดโครงข่ายสร้างพื้นฐานสีเขียว (Blue-green infrastructure network) เป็นพื้นที่สีเขียวที่เชื่อมโยงถึงกัน (Green Corridor) การที่ตั้งอยู่ใกล้ตัวเมืองเชียงใหม่มากจึงมีโอกาสถูกบุกรุกทำลาย ต้องการมาตรการควบคุมอย่างเข้มงวดต่อการขยายตัวของเมืองประกอบกับหน้าแล้งมักเกิดไฟป่าได้ง่าย ในระยะยาวควรจัดการฟื้นฟูสภาพป่าไม้เพื่อเป็นแหล่งให้ความชุ่มชื้น สร้างเสริมการบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem services) ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเมือง

5) Greenery town climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 7 (LAZ-7) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 74.88 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 32.23 องศาเซลเซียส เป็นเขตที่มีความหนาแน่นของการพัฒนาเมืองปานกลาง ด้วยอาคารบ้านเรือนที่มีความสูงประมาณ 1-3 ชั้น มีพื้นที่โล่งบริเวณรอบอาคาร และมีพื้นที่สีเขียวที่มีความสมบูรณ์จำนวนมากจาก ต้นไม้ใหญ่ พื้นที่รกร้างรอการพัฒนา สนามกอล์ฟ และสวนไม้ผลโดยเฉพาะต้นลำไย มาตรการและกลยุทธ์ต่างๆ ควรได้รับการเสนอในเขตนี้ เนื่องจากเป็นพื้นที่รองรับการขยายตัวของชุมชนเมืองในอนาคต ทั้งการคุ้มครองและส่งเสริมการเพิ่มทั้งพื้นที่สีเขียวเมือง (Urban green spaces) และพื้นที่สีเขียวส่วนตัว (Private green spaces) ควบคุมการให้อนุญาตก่อสร้างอาคารคลุมดินขนาดใหญ่ (Large building footprint) เช่น โรงงานอุตสาหกรรมและคลังสินค้า ห้างสรรพสินค้า ไฮเปอร์มาร์เก็ต โครงการบ้านจัดสรรขนาดใหญ่ เป็นต้น ลดการคลุมพื้นดินด้วยพื้นผิวไม่ซึมน้ำ (Impervious surfaces) เช่น ยางมะตอย คอนกรีต หินขัด เป็นต้น

6) Suburban climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 2 (LAZ-2) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 70.56 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 31.53 องศาเซลเซียส การใช้พื้นที่แบบผสมเพื่ออยู่อาศัยในเขตชานเมืองและรองรับการขยายตัวของเมือง ลักษณะของชุมชนที่อยู่อาศัยที่มีระยะเดินทางไม่ไกลจากพื้นที่เมือง และอยู่ไม่ห่างจาก



: ผู้วิจัย

รูปที่ 18 แผนที่สภาพสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง (Urban thermal environmental map, UTEMap) ที่แตกต่างทางปริมาณความร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่

พื้นที่ชนบทเกษตรกรรม เรียกว่า ชั้นขอบเขตชนบท (Rural boundary layer) ซึ่งมีบทบาทสำคัญเป็นพื้นที่แหล่งความเย็นทางด้านตะวันออกของศูนย์กลางเมืองเชียงใหม่ ส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่บนพื้นที่ในฝั่งตะวันออกแม่น้ำปิงตามถนนวงแหวนรอบกลาง (ถนนสมโภชเชียงใหม่ 700 ปี) ถึงถนนรอบเมืองเชียงใหม่ และตามถนนสายรองในชุมชน ที่พื้นที่สีเขียวและต้นไม้ใหญ่ในปัจจุบันของชุมชนควรได้รับการอนุรักษ์ และส่งเสริมมาตรการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวทั้งสวนสาธารณะและพื้นที่โล่งนันทนาการในพื้นที่ชุมชน ควบคู่กับการคุ้มครองพื้นที่เกษตรกรรมชั้นดีและพื้นที่ชุ่มน้ำ การใช้ข้อกำหนดการใช้ที่ดินควบคุมความหนาแน่นและความสูงอาคาร ร่วมกับการลดการสะสมความร้อนพื้นผิวโดยใช้มาตรการควบคุมอัตราส่วนพื้นที่อาคารคลุมดินต่อพื้นที่ดินโดยเฉพาะอาคารขนาดใหญ่ การออกแบบผังโครงการจัดสรรเพื่อการอยู่อาศัยที่คำนึงการระบายอากาศ

7) Suburban cultivation climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 1 (LAZ-1) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 112.86 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 30.50 องศาเซลเซียส เป็นพื้นที่ชุมชนชนบทเกษตรกรรมในที่ลุ่มต่ำน้ำท่วมถึง กระจายตัวอยู่ทางด้านทิศใต้ในเขตอำเภอหางดงและอำเภอสารภี เป็นพื้นที่แหล่งความเย็นที่เกิดจากการเพาะปลูกทำการเกษตรที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นทุ่งนาที่มีการทำนาปรังในช่วงฤดูร้อน และค่อนข้างผันผวนตามปัจจัยทางความต้องการทางการตลาด อย่างไรก็ตาม การควบคุมการพัฒนาเมืองป้องกันการเติบโตแบบกระจัดกระจายและการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นสิ่งจำเป็นมากที่ต้องเข้มงวด เพื่อคุ้มครองพื้นที่นี้ให้เป็นแหล่งอาหาร รักษาระบบนิเวศชนบทเกษตรกรรมและควบคุมสภาพภูมิอากาศเมืองในฤดูร้อนจากความชุ่มชื้นในดิน (Lanchanon, 2014)

8) Cultivation climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 5 (LAZ-5) เป็นเขตพื้นที่เมืองที่มีความเปราะบางเล็กน้อยทางอุณหภูมิ (Slightly temperature-sensitive urban area) ส่วนใหญ่อยู่ตามแนวชายขอบเมือง (Downtown fringe) (ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 46.17 ตารางกิโลเมตร) เป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาหนาแน่นน้อยซึ่งประสบปัญหาด้านปริมาณความร้อนเล็กน้อยด้วยอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 30.14 องศาเซลเซียส โดยพื้นที่นี้เป็นเขตการเปลี่ยนผ่านที่สำคัญระหว่างพื้นที่เปราะบางทางสภาพภูมิอากาศกับพื้นที่นอกเมืองที่มีความสำคัญทางสภาพภูมิอากาศในช่วยบรรเทาผลกระทบจากปริมาณความร้อนเมือง ที่มาจากประสิทธิภาพการทำความเย็น (Cooling effect) จากแหล่งน้ำผิวดินรวมทั้ง แม่น้ำ ลำคลอง พื้นที่ชุมน้ำ และหนองบึง ที่ควรได้รับการคุ้มครองรักษาและเพิ่มการเชื่อมโยงพื้นที่สีเขียวรอบ ๆ แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญในเมือง นอกจากนี้การให้อนุญาตสร้างอาคารควรเน้นควบคุมขนาดพื้นที่อาคารคลุมดิน และจัดการอาคารที่จะเกิดขึ้นมาใหม่อย่างเข้มงวด ส่งเสริมให้อาคารใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมร่วมกับการวางตำแหน่งสอดคล้องกับทิศทางลมและการระบายอากาศ การขยายถนนให้กว้างและรักษาพื้นที่โล่ง เป็นมาตรการส่งเสริมระยะยาวที่มีประสิทธิภาพ

ท้ายที่สุดนี้ จากวิธีการจำแนกความคล้ายเชิงพื้นที่ทางความเสถียรเชิงความร้อนพื้นผิวเพื่อกำหนดความแตกต่างของเขตบรรยากาศประจำถิ่นในพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ตลอดจนข้อเสนอแนะการวางแผน และมาตรการควบคุมเชิงพื้นที่เมืองในแต่ละเขตบรรยากาศประจำถิ่น จะเป็นข้อมูลด้านนโยบายการใช้พื้นที่ที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการประสานการทำงานแบบสหวิทยาการในหมู่นักวางแผนและออกแบบเมือง กับนักวิทยาศาสตร์ด้านสภาพภูมิอากาศเมืองและสิ่งแวดล้อม ที่เป็นสิ่งที่สำคัญต่อการสร้างความยั่งยืนและสภาพแวดล้อมที่สบายต่อการอยู่อาศัยทั้งในตัวเมืองไปจนถึงเขตชานเมืองเชียงใหม่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปี 2557 ภายใต้งานวิจัยเรื่อง “การศึกษาแนวคิดการออกแบบทางผังเมืองเพื่อสร้างองค์ความรู้สำหรับใช้เป็นแนวทางในการลดปรากฏ–การณ์เกาะความร้อนเมืองในเขตเมืองเชียงใหม่ (A Study on Urban Planning Concepts to Create a Body of Knowledge for the Reduction of Urban Heat Island Guideline in Chiang Mai Urban Area)” และผู้เขียนขอขอบคุณเป็นพิเศษต่อ อาจารย์ ดร.สาธิดา สกุลรัตนกุลชัย สำหรับการให้ข้อเสนอแนะหลักการเลือกใช้เทคนิคทางสถิติที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยชิ้นนี้

References

American Meteorological Society US [AMS]. (2014). *The definition of Urban Canopy Layer glossary of meteorology*. Retrieved April 2014, from http://glossary.ametsoc.org/

American Meteorological Society US [AMS]. (2015). *The definition of Urban Microclimate glossary of meteorology*. Retrieved November 2015, from http://glossary.ametsoc.org/

Baumüller, J., Hoffmann, U. & Reuter, U. (1992). Climate booklet for urban development, Ministry of Economy Baden-Wuerttemberg, *Environmental Protection Department*, Germany.

Baumüller, J. & Reuter, U. (1999). *Demands and requirements on a climate atlas for urban planning and design*. Office of Environmental Protection: Stuttgart.

Baumüller, J. (2006). Implementation of climatic aspects in urban development: the example Stuttgart. *In Paper Presented at the Urban Climate + Urban Greenery*. 42–52, PGBC, Hong Kong.

Charoentrakulpeeti, W. (2014). Physical Characteristics and Ventilation Pattern in Uthai Thani city. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 11*(2), 99-112.

Esser, G. (1989). Global land-use changes from 1860 to 1980 and future projections to 2500. *Ecological Modelling*, 44, 307–316.

He, X., Shen, S., Miao, S., Dou, J. & Zhang, Y. (2015). Quantitative detection of urban climate resources and the establishment of an urban climate map (UCMap) system in Beijing. *Building and Environment*, 92, 668-678.

Knoch, K. (1951). Uber das Wesen einer Landesklimaaufnahme. *Meteorologische Zeitschrift,* 5, 173.

Knoch, K. (1963). Die Landsklima-aufanhme, Wesen und Methodik. *Berichte der Deutschen Wetterdienst*, 85, 64.

Klimaatlas. (1992). *Nachbarschaftsverband Stuttgart (Stuttgart Regional Federation), Climate study for the area of the Stuttgart Regional Federation and bordering areas of the Stuttgart region*. Landeschauptstadt Stuttgart, Amt fur Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie: Stuttgart.

Lanchanon, P. (2014). The potential of agricultural lands for conservation of green area in Chiang Mai city. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 10*(2), 115-137.

Lambin, E. F., Baulies, X., Bockstael, N., Fischer, G., Krug, T., Leemans, R., Moran, E. F., Rindfuss, R. R., Sato, Y., Skole, D., Turber, B. L. & Vogel, C. (1999). IGBP Report No.48/IHDP Report No.10: Land-use and Landcover Change Implementation Strategy. *IGBP Secretariat, The Royal Swedish Academy of Sciences*: Stockholm, 75–85.

McMichael, A. J., Wilkinson, P., Kovats, R. S., Pattenden, S., Hajat, S., Armstrong, B., Vajanapoom, N., Niciu, E. M., Mahomed, H., Kingkeow, C., Kosnik, M., O'Neill, M. S., Romieu, I., Ramirez-Aguilar, M., Barreto, M.L., Gouveia, N. & Nikiforov, B. (2008). International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. *International Journal of Epidemiology*, *37*(5), 1121-1131.

Mills, G. (1997). An urban canopy-layer climate model. *Theoretical and Applied Climatology*, 57, 229–244.

Mitraka, Z., Chrysoulakis, N., Gastellu-Etchegorry, J. P. & Del Frate, F. (2015). Exploiting earth observation data products for mapping local climate zones. *Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate (ICUC9)*, Toulouse France.

Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates.* Routledge: London.

Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. *Instrument and Observing Methods, Report No. 81*, WMO/TD-No.1250.

Ren, C., Ng, E. & Katzschner, L. (2011). Urban climatic map studies: a review. *International Journal of Climatology*, 31, 2213-2233.

Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A. & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*, 98, 119–124.

Srivanit, M., Hokao, K. & Phonekeo, V. (2012). Assessing the impact of urbanization on urban thermal environment: a case study of Bangkok metropolitan. *International Journal of Applied Science Technology*, *2*(7), 243-256.

Srivanit, M. & Kokao, K. (2012). Effects of urban development and spatial characteristics on urban thermal environment in Chiang Mai metropolitan, Thailand. *Lowland Technology International*, *14*(2), 9-22.

Srivanit, M. & Auttarat, S. (2015). The Summer Thermal Environment and Human Comfort of Shaded Outdoor and Semi-Outdoor Spaces to Living in the Urban Area of Chiang Mai City. *Journal of Architectural/ Planning Research and Studies*, *12*(2), 53-52.

Thai Meteorological Department [TMD]. (2015). *Chiang Mai Annual Weather Summary*. Retrieved November 2015, from http://www.tmd.go.th/

United Nations Population Fund [UNFPA]. (2007). Earlier UN estimates indicated that this urban transition would occur in 2007. *United Nations Population Fund*, 1.

United Nations [UN]. (2008). State of the World's Cities 2008/2009 – Harmonious Cities. *United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT): Earthscan*, London, Sterling, VA.

Virtual Desktop Infrastructure [VDI]. (1997). *VDI-Guideline 3787, Part 1, Environmental Meteorology-Climate and Air Pollution Maps for Cities and Regions*. Beuth Verlag: Berlin.

Zhou, L., Dickinson, R. E., Tian, Y., Fang, J., Li, Q., Kaufmann, R. K., Tucker, C. J. & Myneni, R. B. (2004). Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 9540–9544.